

УДК 574.68 (28)

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФАСОВАННЫХ НЕГАЗИРОВАННЫХ ПИТЬЕВЫХ ВОД

**В.В. Гончарук, В.Ф. Коваленко**

Институт коллоидной химии и химии воды  
им. А.В. Думанского НАН Украины, г. Киев

Поступила 12.04.2011 г.

*Представлены результаты комплексной оценки качества вод из торговой сети г. Киева при помощи методов аналитической химии, биотестирования с использованием набора животных и растительных тест-организмов и микробиологического анализа. Критерием оценки качества вод служил интегральный показатель в условных единицах, который позволял отнести исследуемые воды к одной из четырех категорий: "неопасная", "условно опасная", "опасная" и "очень опасная".*

**Ключевые слова:** биотестирование, качество вод, микробиологический анализ, химический анализ, фасованные питьевые воды.

**Введение.** Работы по оценке качества питьевых фасованных вод, проведенные в ИКХХВ им. А.В.Думанского НАН Украины [1 – 3], нашли отклики и поддержку у известных зарубежных ученых из Канады, Бельгии и Швеции [4]. Поэтому актуальным остается продолжение исследований, направленных на совершенствование комплексного биотестирования питьевых вод и поиск чувствительных тест-функций, базирующихся на физиологических, биохимических, цитологических и генетических показателях тест-организмов, которые задолго до гибели гидробионтов давали бы информацию о начальных изменениях в их организмах, вызванных интоксикацией. В этом аспекте достаточно эффективно могут применяться клеточные биомаркеры, по которым можно объективно оценивать обратимость или необратимость цитологических изменений.

В последнее время в мире потребление населением фасованных в емкости питьевых вод стремительно увеличивается, в том числе и в Украине. Ухудшение качества фасованных питьевых вод связано с изменением их химического состава, микробиологическим загрязнением, а также с нарушениями продолжительности и условий хранения, особенностями технологий водоподготовки, фальсификацией продукции (несоответствие качества фасованной воды данным на этикетке).

© В.В. ГОНЧАРУК, В.Ф. КОВАЛЕНКО, 2011

На основании многолетних исследований предлагаемая процедура комплексного биотестирования питьевых вод рассматривается авторами как оптимальная и эффективная. Она проводится совместно с определением химического состава воды физико-химическими методами и микробиологическим анализом, которые дают возможность установить степень риска для здоровья человека, потребляющего некачественную питьевую воду. Комплексная оценка качества фасованных вод позволяет оценить их биологическую опасность и определить воды, которые не вредны для употребления в качестве питьевых. Такие воды должны однозначно соответствовать требованиям, предъявляемым к питьевой воде высокого качества [5].

Цель данной работы – проведение комплексного исследования биологическими методами наиболее распространенных в торговой сети Украины фасованных негазированных питьевых вод с общей минерализацией  $< 1 \text{ г/дм}^3$ . Нами представлены показатели 17 марок фасованных негазированных вод из торговой сети г. Киева. Опыты с использованием животных и растительных тест-организмов проведены в период с мая по сентябрь 2008 г., когда срок хранения для всех исследуемых вод не превышал рекомендуемого фирмами-производителями.

**Методика эксперимента.** Суть комплексного подхода, применяемого в проведенных исследованиях, заключается в следующем. Параллельно с химическим [6] и микробиологическим [7] анализами состава образцов вод определяли разные виды их возможной токсичности при помощи биотестирования как на организменном, так и клеточном уровнях. В наборе тест-организмов были использованы представители различных систематических групп и трофических уровней [8]. Для комплексного биотестирования фасованных вод применяли следующий набор тест-организмов:

– репчатый лук (*Allium cepa*) – представитель однодольных растений. Процедура биотестирования состоит из проращивания откалиброванных посадочных луковиц в исследуемой воде [9]. Критерием токсичности служат достоверные изменения размерно-весовых показателей корешков в опытной группе по сравнению с контрольной после экспозиции в течение 72 ч;

– гидра пресноводная (*Hydra attenuata*) – представитель беспозвоночных кишечноротовых животных. При проведении биотестирования регистрируют морфологические изменения (сублетальный эффект) и выживаемость (летальный эффект) в течение четырех суток [10];

– цериодафния (*Ceriodaphnia affinis*) – более мелкий и чувствительный вид низших ракообразных. Критерием токсичности служит гибель тест-организмов в течение двух суток (острая токсичность) и снижение рождаемости при экспозиции в течение 7 сут (хроническая токсичность) [11];

– рыба данио (*Danio rerio*) – представитель позвоночных водных животных. При проведении процедуры биотестирования регистрируется количество погибших особей в исследуемой воде в течение четырех суток [12].

Комплексная оценка токсичности образцов вод с использованием набора биотестов позволяет объективно исследовать воздействие неблагоприятного фактора среды на животные и растительные организмы. Для ее количественной интерпретации предлагается введение индекса общей токсичности (ИОТ) [13], который представляет собой сумму эффектов, рассчитанных для исследуемой воды или растворенных веществ для всех биотестов, включенных в батарею. Чтобы исключить чрезмерное влияние какого-либо из биотестов на общий результат, максимальное значение для одного организма ограничивается 100 условными единицами (гибель всех тест-организмов). Так, например, при использовании в батарее четырех тест-объектов максимальное значение ИОТ не может превышать 400 условных единиц.

**Результаты и их обсуждение.** По обобщенным результатам биотестирования на растительных, беспозвоночных и позвоночных тест-организмах исследуемые фасованные воды можно условно разделить на четыре группы в зависимости от значения ИОТ (табл. 1).

Табл. 1. Результаты биотестирования питьевых фасованных вод

Марка фасованной воды	Биотест				Индекс общей токсичности	Категория воды
	цериодафния	гидра	рыба	лук		
Моршинська	0	0	0	0	0	Неопасная (0)
SPA	0	5	0	0	5	Условно опасная (1–20)
Humana	0	0	10	0	10	То же
Ордана	0	10	0	10	20	" – "
Бон аква	10	0	0	10	20	" – "
Bebivita	0	0	0	20	20	" – "
Hipp	0	0	0	20	20	" – "
Contrex	20	0	0	0	20	" – "
Вода питна	30	5	0	0	35	Опасная (21–50)
Знаменівська	0	5	10	20	35	То же
Каліпсо	0	5	10	20	35	Опасная (21–50)
Vittel	20	0	5	10	35	То же
Старий Миргород	50	20	0	0	70	Очень опасная (51– 400)

Продолжение таблицы 1.

Семейная	70	20	0	10	100	То же
Прозора	40	100	0	0	140	" – "
Софія Київська	100	80	0	10	190	" – "
Доктор	100	100	10	0	210	" – "

К первой группе – категория "неопасные" питьевые воды – относятся воды, которые не вызывают гибели тест-организмов при применении четырех биотестов. В наших исследованиях этим условиям соответствует только одна марка питьевой воды – "Моршинська".

Ко второй группе – категория "условно опасные" – относятся воды со значениями ИОТ в диапазоне от 1 до 20 ("Ордана", "Бон аква", "Нірр").

К третьей группе – категория "опасные" – относятся воды с ИОТ от 21 до 50 ("Вода питна", "Знаменівська", "Каліпсо").

К четвертой группе – категория "очень опасные" – относятся воды с ИОТ от 51 до 400 ("Старий Миргород", "Семейная", "Прозора", "Софія Київська" и "Доктор"). Данные воды, согласно результатам биотестирования, при длительном употреблении могут иметь высокую степень риска для здоровья человека.

Что касается характеристик биотестов, включенных в исследовательскую батарею, то они различаются по чувствительности и видовому отношению к различным токсическим воздействиям. По полученным данным, низшие ракообразные (цериодафния и дафния) являются наиболее чувствительными тест-организмами из батареи биотестов. Так, с помощью цериодафний острая токсичность выявлена в четырех марках питьевых вод. В то же время показателям хронической токсичности соответствовали четыре марки питьевых вод: "Вода питна", "Прозора", "Contrex" и "Vittel". Особенностью биотеста с ракообразными является четкая реакция на уровень минерализации вод и, в частности, на содержание кальция. Такая реакция биотеста объясняется тем, что для жизнедеятельности этих гидробионтов необходим кальций для построения наружного скелета. Благодаря своей простоте и высокой чувствительности этот биотест относят к одному из наиболее распространенных методов биотестирования в мировой практике. Он включен в международные стандарты, используется как национальный норматив, а также часто включается в наборы тест-организмов для оценки токсичности проб вод. Геном этого пресноводного рачка оказался насыщеннее человеческого, а расшифровка роли многих его генов даст ключ к пониманию уникальной экологической функции дафний [14].

Другой представитель беспозвоночных животных – гидра – также обладает высокой чувствительностью к токсическим воздействиям, например к органическим загрязняющим веществам в водах. Несмотря на то, что биотест с гидрами является менее распространенным, чем тест с дафниями, все же он обладает некоторым преимуществом: объективно демонстрирует дифференцированную ответную реакцию тест-организма на неблагоприятные факторы водной среды посредством ряда различных морфологических изменений. В комплексном биотестировании с помощью гидр можно определять как острую ("Прозора", "Софія Київська" и "Доктор"), так и хроническую токсичность ("Старий Миргород", "Семейная") питьевых фасованных вод.

Представители позвоночных водных животных в наборе биотестов представлены рыбами (данио рерио). Рыбы необходимы для контроля случаев с острой токсичностью (в наших исследованиях фасованной питьевой воды такие случаи не наблюдались). Несмотря на то, что рыбы являются менее чувствительным тест-организмом, они так же, как и дафния и цереодафния, включены в международный и национальный стандарты, и во многих странах широко используются в батареях биотестов для оценки качества вод. Их можно использовать при биотестировании вод в качестве источника клеточного материала для цитотоксических и генотоксических исследований.

Представителем растений в наборе биотестов является репчатый лук. Поскольку остальные тест-организмы относятся к животным, он помогает оценить разнообразие эффектов и специфичность веществ, загрязняющих водную среду. Например, при проращивании репчатого лука в воде, содержащей повышенные концентрации азотистых веществ, наблюдается повышение макроскопических показателей (длина и масса корешков) по сравнению с контрольными показателями. Биотест детально разработан, поэтому широко используется в международных исследованиях токсичности загрязненных вод как на организменном, так и клеточном уровнях. В экспериментах с фасованной питьевой водой у четырех марок ("Калипсо", "Знаменівська", "Нірр" и "Bebivita") зарегистрировано достоверное максимальное отклонение от контрольных значений (20%).

Контролировали также показатели микробной безопасности питьевой воды, в том числе количество гетеротрофных бактерий, в соответствии с требованиями для фасованной питьевой воды (табл. 2). Данные анализа микробиологической безопасности фасованных питьевых вод подтвердили результаты комплексного биотестирования. Так, все воды, относящиеся к категориям "опасная" и "очень опасная", в той или иной степени содержали повышенное количество микроорганизмов в единице объема.

Табл. 2. Показатели микробиологической обсемененности фасованных питьевых вод разных производителей

Марка фасованной воды	Число кишечных бактерий в 1 дм <sup>3</sup>	Число гетеротрофных бактерий в 1 см <sup>3</sup> при 37°С (одни сутки)	Число гетеротрофных бактерий в 1 см <sup>3</sup> при 37°С (двое суток)	Число гетеротрофных бактерий в 1 см <sup>3</sup> при 22°С (трое суток)	Кол-во дрожжей и микромицетов в 100 см <sup>3</sup> воды
Моршинська	<3	0	0	40	0
SPA	<3	0	0	0	2
Humana	<3	0	0	10	0
Ордана	<3	0	0	2	0
Бон аква	<3	0	0	0	0
Bebivita	<3	0	0	0	2
Hipp	<3	0	0	0	0
Contrex	<3	2	320	30	5
Вода питна	<3	0	0	100	0
Знаменівська	<3	0	0	100	0
Каліпсо	<3	0	0	400	1
Vittel	<3	1	1	0	1
Старий Миргород	<3	0	0	1000	2
Семейная	<3	2	2	200	0
Прозора	<3	0	0	36	3
Софія Київська	<3	0	4	35	1
Доктор	<3	0	2000	0	0

При изучении химического состава и свойств фасованных вод были определены 45 показателей, которые необходимы для оценки качества питьевой воды в соответствии с отечественными нормативными документами [15 – 17] и требованиями ЕС [18], – органолептические, обобщенные (рН, минерализация, общий органический углерод, перманганатная окисляемость, анионные ПАВ и др.), макро- и микрокомпоненты неорганической природы, летучие органические соединения. Из полученных данных видно, что органолептические свойства всех исследованных питьевых вод (запах, цветность, мутность) практически одинаковые и соответствуют гигиеническим нормативам [15, 16]. В то же время концентрация основных катионов и анионов в этих водах значительно различается. При этом величина рН изменяется в интервале 5,8 – 8,4, минерализация – 33 – 2143 мг/дм<sup>3</sup>, жесткость – 0,1 – 31,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>, щелочность – 0,5 – 6,7 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Концентрация (мг/дм<sup>3</sup>) аммония составляет < 0,05 – 1,3, калия – < 0,1 – 12, кальция – 1,6 – 536, магния – < 1 – 60, натрия – 0,9 – 240, стронция – < 0,1 – 7,3, кремниевой кислоты – 5,6 – 55,8, нитратов – < 0,5 – 8,5, хлоридов – < 0,7 – 248, сульфатов – < 4 – 1102 и фторидов – < 0,02 – 1,47.

Для исследованных образцов фасованных питьевых вод характерно низкое содержание общего органического углерода в интервале 0,08 – 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, тяжелых металлов – < 0,1 ПДК, а также микробиологическая безопасность. Исключение составляют воды "Семейная", "Старий Миргород" и "Доктор", в которых количество гетеротрофных бактерий в единице объема превышает гигиенический норматив соответственно в 2; 10 и 20 раз. В образце воды "Знаменівська" обнаружены следовые количества серебра (консервант) на уровне 0,004 мг/дм<sup>3</sup>, что в 10 раз ниже ПДК.

Наибольшее содержание натрия зафиксировано в водах "Старий Миргород", "Знаменівська", "Семейная". В последней ПДК натрия превышена в 1,2 раза, что в 10 – 100 раз больше по сравнению с другими водами.

Следует отметить, что в ряде образцов фасованной воды общая минерализация, жесткость, концентрации магния и фтора были ниже установленных гигиенических нормативов физиологически полноценной питьевой воды [2]. Так, в водах "Вода питна" и SPA минерализация составляет < 100 мг/дм<sup>3</sup>; в водах "Старий Миргород", "Вода питна", "Знаменівська", "Моршинська", SPA жесткость – < 1,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>; в водах "Старий Миргород", "Вода питна", "Знаменівська", "Моршинська", SPA, "Bebivita", "Humana" концентрация магния – < 10 мг/дм<sup>3</sup>; в водах "Ордана", "Старий Миргород", "Знаменівська", "Доктор", "Каліпсо", "Софія Київська" концентрация фторидов – 0,7 – 1,5 мг/дм<sup>3</sup>, остальные фасованные воды содержат фториды < 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Исследованная группа фасованных вод включает также воды для детского питания "Humana", "Hipp", SPA, "Bebivita", лечебно-столовую минеральную воду "Знаменівська" с повышенным содержанием кремния",

природную минеральную воду "Contrex", в которой минерализация (2000 мг/дм<sup>3</sup>) и содержание кальция (536 мг/дм<sup>3</sup>) превышают гигиенические нормативы для питьевой воды, а содержание стронция находится на уровне ПДК, что в 10 – 30 раз больше, чем в остальных образцах фасованных вод.

Исследованные в 2008 г. химические составы вод "Ордана", "Софія Київська", "Старий Міргород", "Моршинська", "Vittel" практически такие же, как и в 2003 – 2004 гг. [19], но в водах "Бон аква" и "Нірр" обнаружено значительное различие в показателях минерализации, жесткости, щелочности, концентрации натрия, кремния, фторидов и др.

Сопоставление данных табл. 1, 2 и химических анализов показало, что результаты биотестирования не могут быть однозначно интерпретированы на основании имеющихся данных микробиологического и химического анализов (45 показателей). Например, в категорию "неопасные" попадают питьевые воды, в которых ряд показателей не соответствует гигиеническим нормативам для питьевой воды. В то же время категория "опасные" и "очень опасные" присвоена водам, соответствующим гигиеническим нормативам и не содержащим токсические элементы. Мы предположили, что питьевые воды категории "очень опасная" содержат консерванты, не указанные на этикетке, что и подтвердили дополнительные исследования. Это еще раз свидетельствует о важности биотестирования – необходимого этапа при оценке качества питьевой воды.

Таким образом, схема комплексной оценки качества питьевых вод с использованием набора растительных и животных тест-организмов обеспечивает объективную и всестороннюю характеристику токсичности (острой и хронической), которая может быть вызвана загрязнением источника водопользования, недостатками применяемых технологий водоподготовки, наличием в воде ксенобиотиков, влиянием тары, условий хранения и др.

Сравнение фасованных вод, производимых украинскими и зарубежными фирмами, а также вод, предназначенных для приготовления детского питания, не выявило между ними, согласно результатам биотестирования, существенных различий. Следовательно, токсические свойства исследуемых вод не зависят от условий их производства, применяемых внутри страны или за рубежом, а также от повышенных требований, предъявляемых к продуктам детского питания.

Результаты оценки качества питьевых фасованных вод методами биотестирования свидетельствуют, что воды, произведенные по утвержденным нормативам и токсикологически безопасные по данным химического анализа, могут оказывать негативное воздействие на животные и растительные тест-организмы. Поэтому применение методов аналитической химии, микробиологии и радиологии, включенных в национальные стандарты и нормативы, недостаточно для определения биологических свойств ис-



следуемой воды. Объективная оценка качества воды требует использования наряду со стандартными подходами и методов биотестирования.

Проведенные эксперименты показали, что биотестирование с применением набора тест-организмов является эффективным подходом для интегральной оценки качества питьевых вод. Биотесты выявляют токсические свойства водной среды, дифференцируют разные марки фасованных вод в соответствии с возможным риском для здоровья человека.

**Выводы.** Комплексный подход к оценке качества питьевых негазированных вод дает объективную, достоверную характеристику химического состава и микробиологической обсемененности исследуемых марок вод, но наиболее важным компонентом интегральной оценки качества вод являются результаты биотестирования, характеризующие биологические свойства питьевой воды и возможную степень риска для здоровья ее потребителей. Исходя из этого можно заключить, что методы биотестирования должны обязательно применяться для нормирования качества питьевых вод, в том числе и фасованных.

Полученные данные о биологических свойствах 17 марок фасованных негазированных питьевых вод из торговой сети г. Киева указывают на их разное качество. Так, только в воде "Моршинська" не зарегистрирована гибель тест-организмов и поэтому она соответствует категории "безопасная"; к категории "условно опасные" отнесены 41% исследуемых вод; к категории "опасные" и "очень опасные" – около 53% вод разных фирм производителей, т.е. фактически больше половины всех фасованных питьевых вод в той или иной степени могут быть опасными для здоровья человека при их длительном употреблении.

**Резюме.** Надані результати тестування фасованих питних вод із торгової мережі м. Києва за допомогою батареї біотестів, методів аналітичної хімії та мікробіологічного аналізу. Критерієм оцінки якості вод слугував інтегральний показник в умовних одиницях, який дозволяв віднести досліджувану воду до одної з чотирьох категорій: "безпечна", "умовно небезпечна", "небезпечна" і "дуже небезпечна" питна вода.

*V.V. Goncharuk, V.F. Kovalenko*

## **COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF PACKAGED NON-CARBONATED DRINKING WATER**

### **Summary**

The results of a comprehensive assessment of water distribution network in Kiev by the methods of analytical chemistry, bioassay using a set of plant

and animal test-organisms and microbiological analysis. The criteria for assessment of water quality was an integral figure in conventional units, which allows us to assign the studied water to one of four: "harmless", "conditionally harmful", "dangerous" and "very dangerous" drinking water.

1. *Архипчук В.В., Гончарук В.В.* // Химия и технология воды. – 2004. – **26**, №4. – С.403 – 414.
2. *Архипчук В.В., Гончарук В.В.* // Там же. – 2004. – **26**, №5. – С.485 – 525.
3. *Гончарук В.В., Архипчук В.В., Терлецька Г.В., Корчак Г.І.* // Вісн. НАН України. – 2005. – №3. – С.47 – 58.
4. *Біотестування як метод оцінки якості питних вод.* // Там же. – 2006. – №10. – С.54 – 57.
5. *Гончарук В.В.* // Химия и технология воды – 2010. – **23**, №5. – С.463 – 512.
6. *Зуев Е.Т., Фомин Г.С.* Питьевая и минеральная вода: Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности. – М.: Протектор, 2003. – 320 с.
7. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. – М.: Протектор, 2000. – 848 с.
8. *Архипчук В.В., Гончарук В.В.* // Химия и технология воды. – 2007. – **29**, №4. – С.357 – 369.
9. *Fiskesjo G.* // Environ. Toxicol. Water Qual. – 1993. – N 8. – P.461 – 470.
10. *Trottier S., Blaise C., Kusui T., Jhonson E.M.* // Ibid. – 1997. – N 12. – P.265 – 271.
11. *КНД 211.1.4.056-97.* Методика визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis Lilljeborg*. – Київ, 1998.
12. *Лукьяненко В.И., Карпович Т.А.* Биотестирование на рыбах (методические рекомендации). – Рыбинск, 1989. – 96 с.
13. *Архипчук В.В., Малиновская М.В.* // Химия и технология воды. – 2000. – **22**, №4. – С.428 – 443.
14. *Секрет живучести* // Газета "Поиск". – №6 (1132) от 11 февраля 2011. – С.23.
15. *Архипчук В.В., Гончарук В.В.* // Химия и технология воды. – 2001. – **23**, №5. – С.531 – 544.
16. *ГОСТ 2874-82.* Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. – М., 1983.
17. *Державні санітарні правила і норми "Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання".* – Затверд. МОЗ України. – Наказ № 383 від 23.12.96 р.
18. *ДСТУ ГОСТ 27384: 2005.* Вода. Норми похибки вимірювань показників складу і властивостей. – Київ, 2006.
19. *Директива ЄС 98/83/ЄС.* Щодо якості води, призначеної для споживання людиною. – Київ, 1999.